
ERFASSUNG BERGBAUVERURSACHTER GEBIRGSVERFORMUNGEN MIT SCHWEREMESSUNGEN

G. Mayer

MU Leoben

Einleitung

Die klassischen markscheiderischen Verfahren zur Beschreibung von bergbauinduzierten Gebirgsverformungen sind bewährte und ständig verfeinerte Praxis in der Bergschadenkunde. Unter Verwendung angepaßter Vermessungsmethoden wird die Lageveränderung von vermarkten Punkten mit hoher Genauigkeit beobachtet. Zur Bestimmung der Vertikalkomponenten der Bewegung dienen Präzisionsnivelements, die Horizontalbewegung läßt sich durch elektronische Totalstationen rasch bestimmen. Ergänzend werden vielfach noch Distanzmessungen zwischen benachbarten Punkten mit Meßbändern vorgenommen.

Die Erfassung der geometrischen Veränderung der Tagesoberfläche dient der bergschadenkundlichen Interpretation der Auswirkungen der Abbautätigkeit.

Die Aussagemöglichkeiten zur Beeinflussung des Gebirgsaufbaues beschränken sich auf Verformungsmessungen im Gebirgskörper, die an vorhandene Grubenräume gebunden sind. In Ergänzung dazu können geophysikalische Verfahren zusätzliche Informationen für bergschadenkundliche Aufgabenstellungen ergeben.

Bergschadenkundliches Grundmodell

Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf abbauinduzierte Bewegungen der Tagesoberfläche, die weitgehend strengen Gesetzmäßigkeiten folgen, wie sie beim großflächigen Abbau in größeren Teufen zu erwarten sind. Der

Bereich des tagesnahen Abbaues wird ausgeklammert, wobei aber betont wird, daß in speziellen bergschadenkundlichen Bereichen, wie etwa der Erkundung oberflächennaher Hohlräume, gravimetrische Verfahren sehr wertvolle Hinweise geben können.

In Abhängigkeit vor allem von der Teufe und den geologischen Bedingungen gehorcht die Verformung der Tagesoberfläche Gesetzmäßigkeiten, die sich aus der Lehmann'schen Trogtheorie herleiten. In der unmittelbaren Umgebung eines geschaffenen Hohlraumes entspannen sich die Gebirgsschichten und werden je nach mechanischer Beanspruchung den Hohlraum offen halten oder unter Auflockerung des Gefüges zu Bruch gehen. Bei großflächigen Abbauverfahren, wie dem Strebbau, wird sich in Abhängigkeit vom Schichtenaufbau, den Teufenverhältnissen, der Abbaugeschwindigkeit und anderen Faktoren eine Absenkung des Hangenden, verbunden mit einer Auflockerung des Gefüges einstellen. Die Reichweite dieser Schichtauflockerung ist vor allem von der Teufe und der Geologie abhängig und kann bis zur Tagesoberfläche reichen. Der zeitliche Senkungsverlauf des Gebirges beim tagesnahen Bergbau läßt sich nicht mit den Gesetzen der Lehmann'schen Trogtheorie erfassen, sondern kann über Jahre oder Jahrzehnte offene Hohlräume zulassen. Mit größer werdender Teufe und zunehmendem Überlagerungsdruck verlaufen Senkungsabläufe kontinuierlich und erreichen spätestens nach wenigen Jahren ihren Endzustand. Im Steinkohlenbergbau des Ruhrgebietes ist die abbaubedingte Endsenkung nach 3 bis 5 Jahren erreicht, wobei sich im ersten Jahr nach dem Strebdurchgang 70 %, im zweiten Jahr 20 % und im verbleibenden Zeitraum bis zur Endsenkung 10 % des Senkungsbetrages einstellen.

Im tertiären Braunkohlenbergbau Österreichs wird sich durch die zumeist wenig biegesteifen Schichten des Hangenden rascher der Endzustand ergeben. Der gesamte Bewegungsvorgang ist im allgemeinen unter Berücksichtigung der verwendeten Abbauverfahren und -geschwindigkeiten nach einigen Monaten vollzogen.

Figur 1 zeigt schematisch die Form eines sich an der Tagesoberfläche ausbildenden Senkungstrog bei Abbau einer Vollfläche. Darunter wird jene untertägige Fläche verstanden, bei deren Abbau ein darüber liegender Punkt bei weiterem Abbaufortschritt keine weitere Absenkung erfährt und die Maximalsenkung erreicht. Im Gebirge bildet sich eine räumliche Zone aus, die durch den Grenzwinkel definiert ist und unter Einwirkung des Abbauhohlraumes steht. Dieser Bereich folgt mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung dem fortschreitenden Abbau und führt dadurch zu einer großräumigen Überprägung des Gebirges.

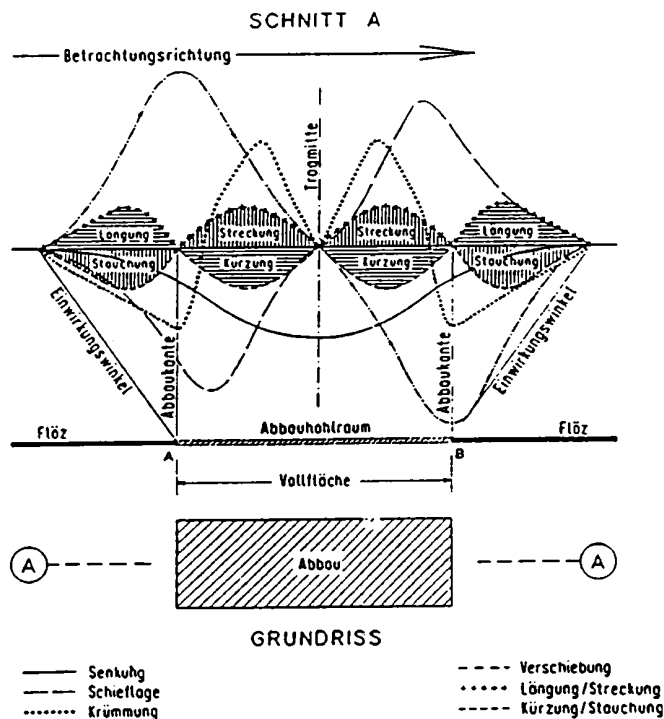


Fig. 1 Senkungstrog über einer Abbauvollfläche nach Niemczyk [8]

Dabei vollziehen Punkte der Tagesoberfläche eine dreidimensionale Bewegung, die zur Analyse der Abläufe im allgemeinen in ihre Komponenten aufgeschlüsselt werden muß.

Bei Messungen im Feld werden die Lage und die Höhe des jeweiligen Meßpunktes erfaßt. Daraus und aus Vergleichen zu vorhergehenden Messungen identer Punkte lassen sich die sogenannten Primärelemente des Senkungstroges ableiten. Es sind dies Senkungen (bzw. Hebungen) und Verschiebungen. Die Beobachtungspunkte führen unter Abbaueinwirkung eine dreidimensionale Bewegung aus, die sowohl orts- als auch zeitabhängig ist. Figur 2 veranschaulicht die Verknüpfung dieser Komponenten.

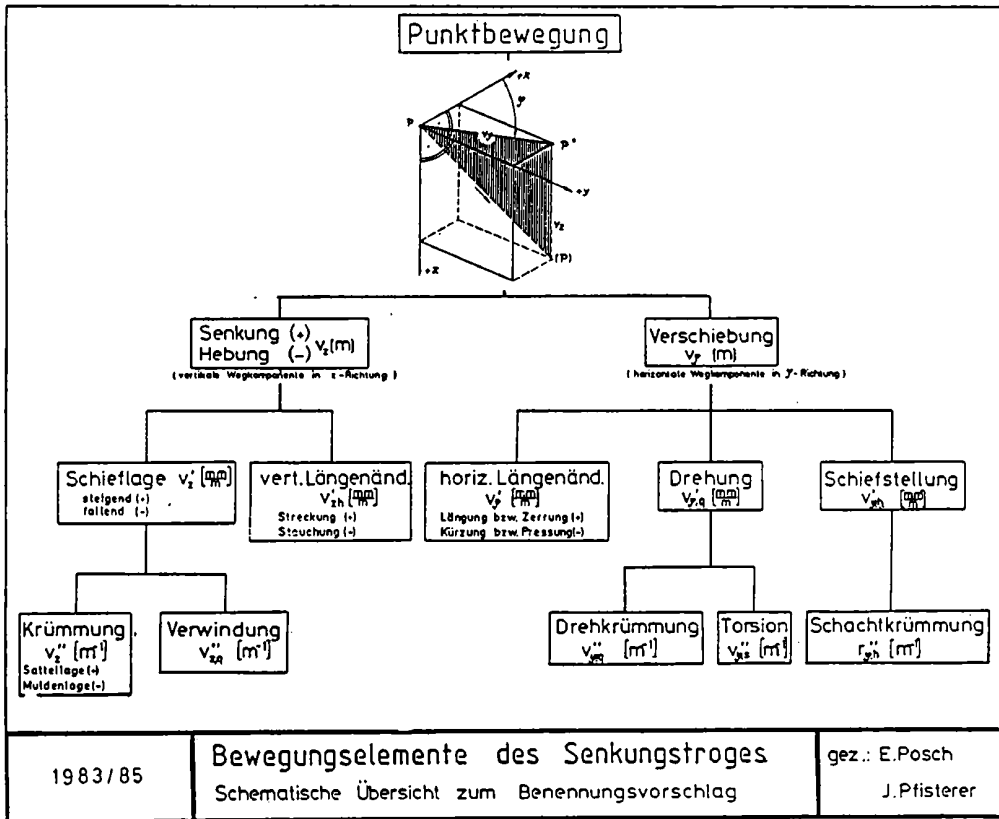


Fig. 2 Bewegungselemente des Senkungstroges nach Spickernagel und Hollmann [7]

Die vertikale Komponente des Bewegungsvektors wird als Senkung bei einer nach unten gerichteten Bewegung und entsprechend entgegengesetzt als Hebung bezeichnet. Die horizontale Komponente des Bewegungsvektors wird als Verschiebung definiert und kann weiter in zwei aufeinander senkrecht stehende Komponenten untergliedert werden, etwa in die Verschiebungen in Abbaurichtung und solche quer zur Abbaurichtung. Die Primärelemente werden in Form von Längen angegeben. Alle weiteren Elemente des Senkungstrogens sind von diesen beiden durch Berechnung abgeleitet.

Einsatz gravimetrischer Messungen

Der Schwerewert in einem Punkt hängt nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz von der Massenverteilung um diesen Punkt und von seiner Lage relativ zur Massenverteilung ab. Daraus folgt, daß eine Veränderung des Schwerewertes durch eine Lageveränderung oder eine Dichteänderung eintreten kann. Der Parameter der Gesteinsdichte hat bei Schweremessungen einen bedeutenden Einfluß. Streng betrachtet wirken sich Dichteänderungen und die damit verbundenen Schwereänderungen auch auf geodätische Messungen aus, da diese die Lotlinie als eine Bezugsrichtung verwenden. Durch Schwereänderungen wird die Lotlinie geringfügig verschwenkt. Der Einfluß von Schwereanomalien findet allerdings nur bei speziellen Vermessungsaufgaben Berücksichtigung.

Bei der Entstehung eines Senkungstrogens kommt es sowohl zur Veränderung der räumlichen Lage der Meßpunkte, als auch durch das Zubruchgehen der Hangendschichten zu Dichteänderungen im Untergrund. Die Gravimetrie ist prinzipiell in der Lage, beide Einflüsse zu erfassen. Es muß aber nach horizontalen und vertikalen Lageveränderungen unterschieden werden. Der Schwerewert eines Punktes ist bekanntlich auch von seiner geographischen Breite abhängig. Nach der Schwereformel von 1980 bewirkt in einer mittleren geographischen Breite von Österreich eine Nord-Südbewegung von 1 m eine

Veränderung in der Schwere von $0,8 \mu\text{gal}$. Das Auflösungsvermögen eines gebräuchlichen Gravimeters, etwa von La Coste - Romberg Modell G, beträgt rund $12 \mu\text{gal}$. Rein horizontale Punktbewegungen in einer Größenordnung von einigen Dezimetern verursachen eine nicht meßbare Schwereänderung, West - Ostbewegungen wirken sich auf die Normalschwere nicht aus. Dadurch scheidet die Punktverschiebung als primäres Element im Senkungstrog für den gravimetrischen Nachweis aus.

Sehr wohl reagiert eine gravimetrische Messung aber auf laterale Massenbewegungen im Untergrund, wie sie etwa bei leicht mobilisierbaren Sandschichten auftreten können.

Eine Höhenveränderung der Punkte ist über den im Untersuchungsgebiet ermittelten Freiluftgradienten erfaßbar. Setzt man das Auflösungsvermögen des Modell G Gravimeters mit einem Freiluftgradienten von rund $300 \mu\text{gal} / \text{m}$ in Relation, so wird das Gravimeter bei einer Höhenänderung von rund 4 cm signifikant ansprechen. Dabei wird aber vernachlässigt, daß die sich um den Meßpunkt bildende Mulde ebenfalls schwereverändernd wirkt. Gravimetrisch gemessen wird die Summe aller Schwerewirkungen. Eine Abtrennung der reinen Vertikalbewegungskomponente ist nur in Kombination mit Vermessungen möglich. Die Ermittlung der Höhenänderungen mittels Nivellement sind um rund eine Zehnerpotenz genauer als die Ableitung von Vertikalbewegungen aus Schwereänderungen.

Aufgabe der gravimetrischen und markscheiderischen Messungen ist einerseits die Erfassung des Urzustandes und andererseits die Bestimmung der zeitabhängigen abbaubedingten Veränderungen der Geländeoberfläche und des Mikroschwerefeldes. Um diese Aufgaben effizient zu erfüllen, bieten sich für beide Meßverfahren bei der Auswertung vor allem Differenzenbetrachtungen an. Die Senkung oder Verschiebung eines Meßpunktes ist als die Differenz seiner Position zur Urmessung oder einer anderen vorhergehenden Messung definiert. Analoges gilt für die Änderung der Schwere oder der

Bougueranomalie. Die auftretenden Meßwertänderungen sind im allgemeinen klein in Relation zur Größe des Meßwertes selbst. Das Differenzenverfahren zeichnet sich vor allem durch den Vorteil aus, daß alle zwischen zwei Messungen konstant gebliebenen Einflußgrößen eliminiert werden und nur die gesuchten Änderungen aufscheinen.

Anhand einiger Beispiele soll gezeigt werden, welcher Zusammenhang zwischen den Elementen aus der Vermessung und gravimetrisch hergeleiteten Elementen besteht.

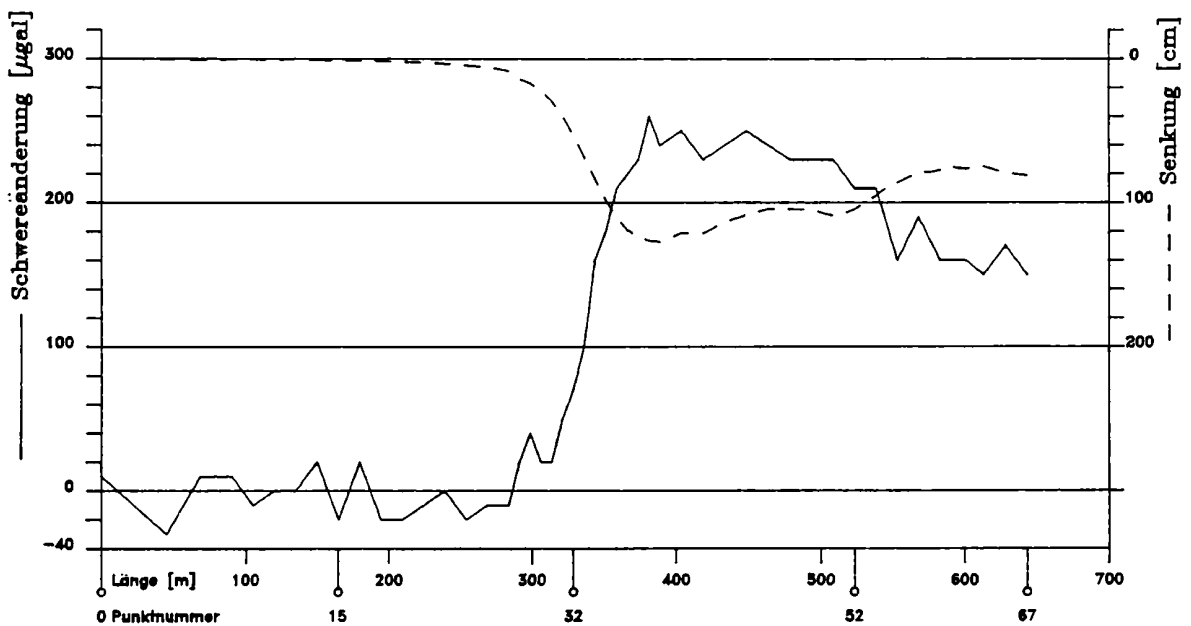


Fig. 3 Gegenüberstellung von Senkungen und Schwereänderungen [5]

Figur 3 stellt markscheiderisch ermittelte Senkungen und gravimetrisch bestimmte Schwereänderungen entsprechender Meßtermine gegenüber. Die Korrelation von Senkung und Schwereänderung ist augenfällig. Es stimmen aber nicht nur die Positionen der Maxima, die Kurvensteilheit und das erstmalige Einsetzen der Trends gut überein, auch Anomalien wie die ungleichmäßige

Absenkung des Längsprofils oder die ansatzweise Ausbildung einer Doppelmulde durch zwei benachbarte Abbaue zeichnen sich in den Schwereänderungen nach. Sobald also senkungsbedingte Schwereänderungen über die Signifikanzgrenze des Gravimeters ansteigen, zeigen sie gute Übereinstimmung mit den markscheiderisch bestimmten Senkungen. Eine direkte Umrechnung von Schwereänderungen in Senkungen ist jedoch nicht zulässig. Die abgebildete Schwereänderungskurve entstehen durch die Summenwirkung von Punktabenkung, Schwerewirkung der sich ausbildenden Senkungsmulde und Anomalien aus dem Untergrund.

Unter der Voraussetzung, daß die durch Senkungen verursachten Änderungen des Schwerewertes eines Punktes sehr viel größer sind als die aus dem unbekanntem Untergrund einwirkenden zeitabhängigen Schwereanomalien, ist die rein gravimetrische Punktbeobachtung durchaus geeignet, Senkungsbeobachtungen in einfachster Form durchzuführen. Diese Methode setzt nur die einmalige Lagebestimmung der Meßpunkte voraus. Da mit Schweredifferenzen zur Urmessung gearbeitet wird, entfällt die Berücksichtigung der Schwerewirkung des weitgehend unverändert bleibenden Geländes. An Auswerteschritten sind lediglich die Korrekturen durchzuführen. Auch ein Anschluß der Messungen an ein absolutes Schwerenetz ist nicht unbedingt erforderlich.

Wie einleitend betont wurde, reagieren bei den zu erwartenden Punkt Bewegungsgrößen im Senkungstrog gravimetrische Messungen vor allem auf die Vertikalkomponente der Bewegung (Senkung), aber nicht eindeutig auf Lageveränderungen. Dadurch kann nur eines der beiden primären Elemente des Senkungstrog nachgewiesen werden. Die Verschiebung und alle daraus abgeleiteten Trogelemente sind schweremäßig nicht faßbar. Um die von der Senkung abgeleiteten Trogelemente zu ermitteln, sind markscheiderische Messungen erforderlich, da bei diesen Auswertungen die Senkungen mit horizontalen Längen verknüpft werden. Daß bei einfacher Längenbestimmung mit einem Meßband und der Ermittlung von Schwerewerten mit einem Gravimeter

trotzdem Aussagen möglich sind, zeigt das Beispiel der Horizontalgradienten. In Figur 4 sind für eine Messung die Horizontalgradienten den Schief lagen gegenübergestellt. Die Horizontalgradienten stellen die auf söhliche Längen bezogene Schwereänderung dar, die Schief lage die auf söhliche Längen bezogene Senkung. Wie die Abbildung zeigt, ist eine deutliche Korrelation beider Kurven vorhanden.

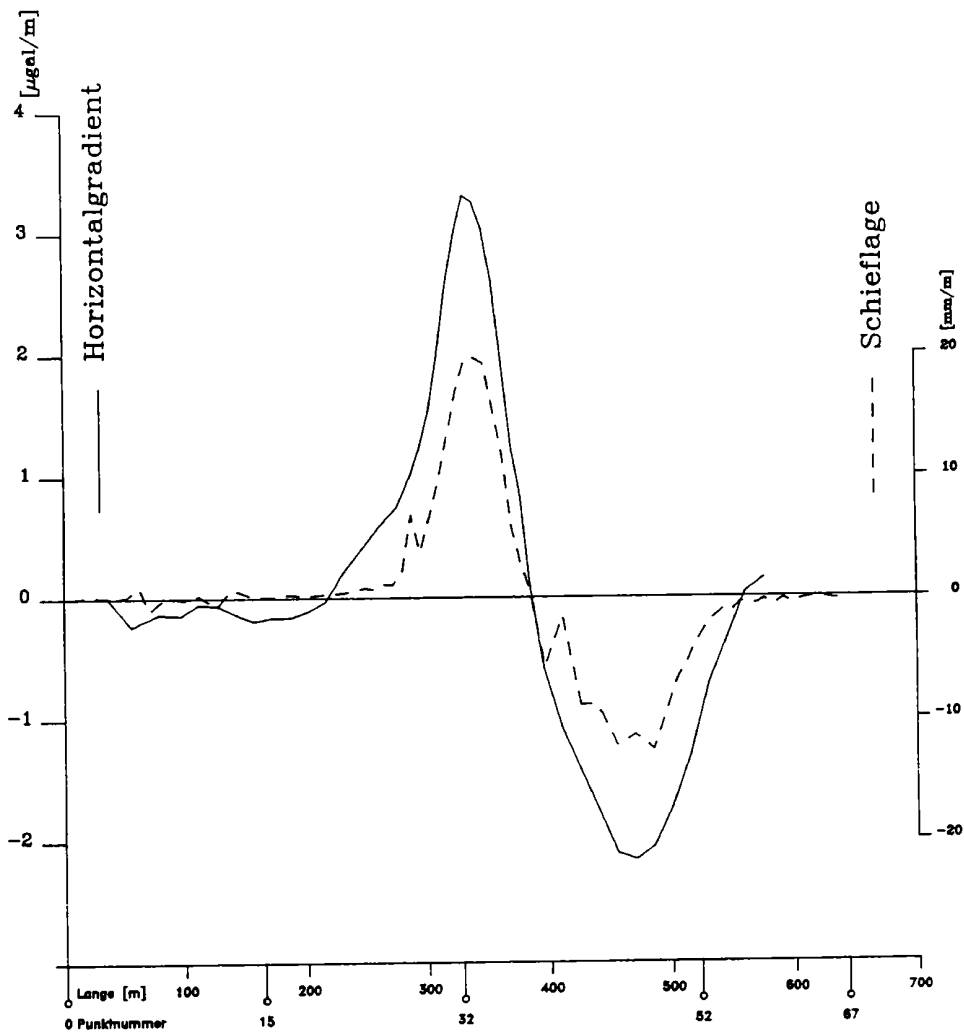


Fig. 4 Gegenüberstellung von Horizontalgradienten aus Schwereänderungen und Schief lagen [5]

Ähnlich wie bei den Schwereänderungen nur qualitativ auf Senkungen geschlossen werden kann, ist eine Umrechnung von Horizontalgradienten der Schwereänderungen in Schieflagen nicht zulässig. Sehr gute Übereinstimmung ist in den Positionen der Maximalwerte und Nulldurchgänge zu erkennen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die aus gravimetrischen Messungen hergeleiteten Schwereänderungen in einfacher Form auch Aufschluß über die Gestalt des Senkungstrogens geben. Die davon abzuleitenden Aussagen sind qualitativer Natur und ermöglichen die Angabe der Position von Senkungsmaxima, von Extremwerten der Schiefelage und in eingeschränkter Form von Senkungsinhomogenitäten. Dadurch kann aber nur ein Teil der Trogelemente erfaßt werden. Zur vollständigen und genauen Beschreibung der an der Tagesoberfläche auftretenden Bodenverformungen in absoluten Zahlen und ohne störende Fremdeinflüsse ist die bisher geübte Praxis der markscheiderischen Vermessung unerläßlich.

Die zumindest trendmäßige Erfassung von untertägigen Massenbewegungen, wie sie durch das Abwandern von Schwimmsandschichten oder das Durchsacken von Grundwasserhorizonten hervorgerufen werden, ist im allgemeinen mit der rein vermessungstechnischen Beobachtung von Oberflächenverformungen nicht gewährleistet. Da Massenbewegungen nicht zwingend Senkungen und Verschiebungen in signifikantem Ausmaß bewirken, jedoch zu einer veränderten Dichtestruktur führen, bietet sich besonders in diesen Fällen die kombinierte Anwendung von gravimetrischen und markscheiderischen Verfahren an.

In den bisher besprochenen Beispielen wurde auf einen besonders wesentlichen Faktor bei der Betrachtung bergschadenkundlicher Vorgänge, nämlich auf deren zeitliche Entwicklung, nur am Rande eingegangen. Die gezeigten Gegenüberstellungen von markscheiderischen und bergschadenkundlichen Messungen beschreiben jeweils den Endzustand der Auswirkungen. Aufschluß über die zeitliche Korrelation von Senkungen und Schwereänderungen und

damit über die zeitlich unterschiedliche Intensität der Meßwertänderungen gibt Figur 5.

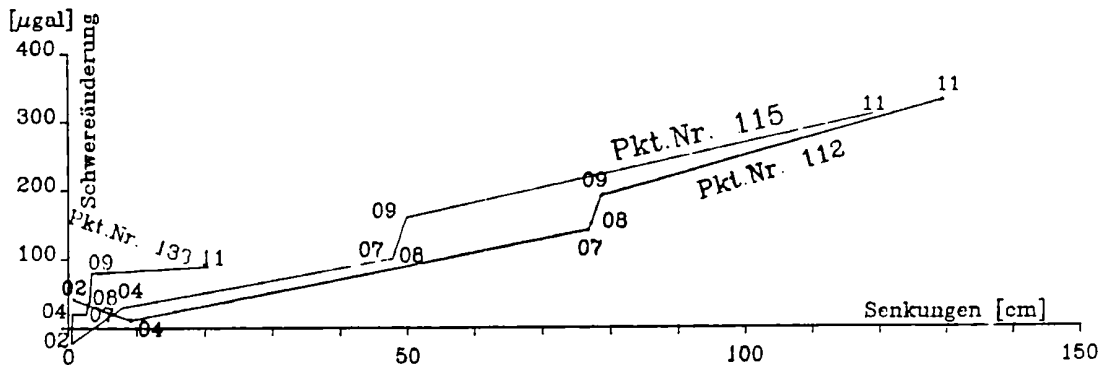


Fig. 5 Korrelation von Senkungen und Schwereänderungen [5]

Hierin sind für einige Meßpunkte den Senkungen die Schwereänderungen in zeitlicher Abfolge gegenübergestellt. Augenfällig ist die allen Punkten ähnliche Kurvenform, die sich durch die Ausbildung zweier Hauptabschnitte auszeichnet. Diese erklären sich durch das Aufeinanderfolgen der Abbaueinwirkungen zweier parallel, aber zeitlich versetzt laufender Strebe. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Übergangsbereich zwischen den beiden Streben. Der hier zu beobachtende bedeutend steilerer Anstieg der Kurven ist als eine begrenzte Phase der Einwirkung zu interpretieren, in der die gravimetrischen Messungen im Verhältnis zu den markscheiderischen Punktbeobachtungen bedeutend stärker ansprechen. Dies zeigt, das Schwereänderungen bereits zu einem Zeitpunkt das Herannahen der Einwirkungszone anzeigen wo noch kaum Punktbeobachtungen nachweisbar sind. Diese Feststellung ist vor allem für Sicherheitsbelange im Berg- und Tiefbau von Bedeutung, wo der Früherkennung von Inhomogenitäten im Gebirgsaufbau und von Gebirgsbewegungen großes Gewicht zukommt.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß Schweremessungen in Ergänzung zu den bewährten Anwendungsgebieten sinnvoll zur Lösung bergschadenkundlicher Aufgaben beitragen und neben der qualitativen Senkungserfassung besonders zur Beschreibung des Gebirgsaufbaues und dessen abbaubedingter Veränderungen herangezogen werden können. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang die Erfüllung sicherheitlicher Aufgaben zu.

Literaturverzeichnis

- [1] **Czubik E.**
Untersuchungen über den Zeitfaktor beim Senkungsvorgang über Tage, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 1970
- [2] **Fajklewicz Z.**
Mikrogravimetrische Messungen zur Prognose von Senkungserscheinungen in Bergbaugebieten: Neue Bergbautechnik, Heft6, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983
- [3] **Hussain A., Walach G., Weber F.**
Underground Gravity Survey in Alpine Regions; Geophysical Prospecting, EAEG, 1981
- [4] **Kratzsch H.**
Mining Subsidence Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1983
- [5] **Mayer G.**
Beobachtung eines Senkungstrogos mit gravimetrischen und markscheiderischen Methoden im tertiären Kohlenbergbau, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 1992
- [6] **Militzer H., Weber F.**
Angewandte Geophysik, Band 1, Springer-Verlag Wien New York, 1984
- [7] **Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse**
Heft 37, Baugrundverhalten in Bergbaugebieten I, Bochum, 1983

- [8] **Niemczyk O.**
Bergschadenkunde, Verlag Glückauf G.m.b.H., Essen, 1949
- [9] **Posch E.**
Entwicklung eines Programm- und Archivsystems für die dynamische Bearbeitung und Verwaltung von Schwerkraftmessungen, dargestellt am Beispiel des Projektes Gravimetrie Westösterreich, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 1989
- [10] **Primoschitz E.**
Senkungsbeobachtungen im tertiären Kohlenbergbau mit gravimetrischen Meßmethoden, Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, 1990
- [11] **Walach G.**
Möglichkeiten der Hohlraumerkundung mittels gravimetrischer Methoden; Schriftenreihe Lagerstätten erfassung und -darstellung, Bodenbewegung und Bergschäden, Ingenieurvermessung; Kolloquium 80 Jahre Institut für Markscheide- und Bergschadenkunde der Montanuniversität, Leoben, 1984

